

# 長野県水産試験場研究報告 第 20 号

(附 令和元年度 長野県水産試験場事業報告)

BULLETIN  
OF  
NAGANO PREFECTURAL  
FISHERIES EXPERIMENTAL STATION  
No.20

令和 3 年 3 月

長野県水産試験場

March 2021

NAGANO PREFECTURAL  
FISHERIES EXPERIMENTAL STATION  
NAGANO JAPAN

# 長野県水産試験場研究報告

## 第20号

### 目次

(魚病研究, 54(1), 1-11 (2019) 掲載論文)  
ウグイ種苗にみられた吸虫性白内障 (抄録)

小松典彦・伊藤直樹・小川和夫…………… 1

千曲川でのコクチバス駆除に伴うオイカワ・ウグイの釣獲状況の改善

山本 聡・川之辺素一・下山 諒・伏見雄貴…………… 2

諏訪湖におけるワカサギの耳石輪紋による年齢査定

星河廣樹・田代誠也…………… 7

ニジマスのIHNと冷水病の混合感染症に対する  
スルフィソゾールナトリウム製剤投与による被害の軽減

新海孝昌・降幡 充・川之辺素一・竹花孝太・近藤博文…………… 13

異なる親魚で作出した信州サーモンにおける脊椎骨異常の発現比較

竹花孝太・川之辺素一・田原偉成・降幡 充…………… 19

(魚病研究, 54 (1), 1-11 (2019) 掲載論文)

## ウグイ種苗にみられた吸虫性白内障 (抄録)

小松典彦・伊藤直樹<sup>1</sup>・小川和夫<sup>2</sup>

Worm Cataract of Hatchery-Reared Japanese Dace *Tribolodon hakonensis* Caused by *Diplostomum* sp.  
(Digenea: Diplostomidae)

Norihiko Komatsu, Naoki Itoh, Kazuo Ogawa

2015年に長野県水産試験場佐久支場で生産したウグイの種苗に白内障が見られ、眼の水晶体にメタセルカリアが寄生していた。最も重篤な魚群では、メタセルカリアの寄生率および1尾あたりの平均寄生数はそれぞれ100%および39.7個体であった。養殖池およびその注水路で採集したモノアラガイに尾部が二又するセルカリアが認められた。得られたメタセルカリアおよびセルカリアのリボゾームおよびミトコンドリア遺伝子は相同性が極めて高く、本種の第一中間宿主はモノ

アラガイ、第二中間宿主はウグイであることが分かった。ただし、ミトコンドリア遺伝子が一致した *Diplostomum* 属種はおらず、種の同定には至らなかった。今回の *Diplostomum* 属吸虫による魚類の吸虫性白内障の発症例は、日本では2例目の報告である。

掲載 URL

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsfp/54/1/54\\_1/\\_article/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsfp/54/1/54_1/_article/-char/ja)

1 東京大学大学院農学生命科学研究科水圏生物科学専攻魚病学研究室

2 公益財団法人目黒寄生虫館

# 千曲川でのコクチバス駆除に伴うオイカワ・ウグイの釣獲状況の改善

山本 聡・川之辺素一・下山 諒・伏見雄貴

Increase of CPUE on pale chub *Opsariichthys platypus* and Japanese dace *Tribolodon hakonensis* using fly-fishing under extermination of invasive smallmouth bass *Micropterus dolomieu* in the Chikuma river

Satoshi Yamamoto, Motokazu Kawanobe, Ryo Shimoyama, and Yuki Fushimi

長野県千曲川の中流域では、オイカワ *Opsariichthys platypus*・ウグイ *Tribolodon hakonensis* が手軽な釣り対象魚として利用され、第五種共同漁業権の対象魚種となっている。高水温期に浅瀬で行われる毛鉤釣りは「曳虫釣」と呼ばれ親しまれていた。この水域では 2002 年頃からコクチバス *Micropterus dolomieu* がみられるようになり、2006 年から 2008 年にかけて捕獲量が増え、<sup>1,2)</sup> 2015 年には投網での採捕個体の 43% を占めるようになった(中野ら：未発表)。

この水域を管理する更埴漁業協同組合からの聞き取り調査で、近年オイカワ、ウグイが釣れなくなっているとの回答があった。筆者の一人が予備調査として 2018 年 6 月 5 日にオイカワ・ウグイを対象に毛鉤釣りを行ったところ、オイカワは釣れず、ウグイ 1 尾、コクチバス 7 尾が釣れた。千曲川では、コクチバスによるオイカワ、ウグイの捕食が確認されており、<sup>3,4)</sup> コクチバスの存在がオイカワ・ウグイの不漁要因として大きいことが推察される。一方で、6 月以降はオイカワ・ウグイの 0 歳魚を容易に見ることができるので、釣獲対象とならないほどオイカワ・ウグイが減っているわけではないと予想する。国内の他

の河川では集中駆除によってコクチバスを減らすことができたとの報告がある。<sup>5,6)</sup> 千曲川では夏季にコクチバスがオイカワ・ウグイ稚魚を捕食するために浅い場所に蟻集し、容易に釣れることが知られており、<sup>7)</sup> このような水域においてコクチバスの集中駆除を試みたところ、オイカワ・ウグイの釣獲状況を改善することができたので報告する。

## 材料と方法

調査を行った千曲川は、河川型が Bb 型<sup>8)</sup> で典型的な中流域の河川形態を示す。コクチバスを集中して駆除を行う水域として「駆除区」を、平和橋(北緯 36.5163, 東経 138.1113)の上流 500m 付近の左岸に設定した。駆除区は瀬が淵に流れ込む水裏にあたり、流れ幅が 48 から 54m、岸延長が 136m である。この駆除区は山本ら<sup>7)</sup> がコクチバスの捕食について調査した水域と同じ水域である。コクチバスの駆除を行わない「対照区」を万葉橋(北緯 36.4794, 東経 138.1481)の下流 300m 付近の右岸に設定した。対象区は駆除区の上流約 4.5 km に位置する。対照区は淵から瀬にかけての水裏にあたり、流れ幅が 57m か

表 1 駆除に使用した釣具・漁具の仕様

種類	フライフィッシング	ルアーフィッシング	投網
仕様	ロッド：8 f # 5	ロッド：7.0 又は 7.5 f ライトアク	目合：12 節
	ライン：WF 5 F	ショーン	錘円周：600 目
	リーダー：3 X	リール：スピニングリール 2500 番	糸：4 号ナイロン
	ティペット：4 X	ライン：フロロカーボン 5lb	
	ドロッパー：ソフトハックル等	ルアー：ジグヘッド (1g~2g) +	
	ウェット #22~24 2 本	ワーム等	
	リード：サーフキャンディー等		
ストリーマー #12~8 1 本			

ら 61m、岸延長が 100m である。それぞれ、予備調査でコクチバス、オイカワ、ウグイの生息を確認しており、駆除区の淵ではコクチバスの産卵が確認されている。<sup>9)</sup>

先行研究<sup>7)</sup>により駆除区にはオイカワ、ウグイの稚魚を捕食するために、コクチバスが夏季に蟻集することがわかっている。蟻集し始める時期を把握するために、2019 年 4 月 25 日から事前観察を始め、7 月 10 日にコクチバスがオイカワ等稚魚を捕食しようと活発に追尾する行動（以下、追尾行動）を確認した。そこで 7 月 16 日から集中駆除を開始し 8 月 27 日まで継続した。各調査日の駆除開始時には水温を計測した。

駆除は、フライフィッシング、ルアーフィッシング、投網を併用して行った。それぞれの仕様を表 1 に示した。このうち、フライフィッシングについては、単位努力となるよう調査員を同一人物 1 名に限定し、コクチバスを駆除しながらオイカワ・ウグイの釣れ具合を把握できる仕掛けを用いた。すなわちリードフライ（先バリ）にはコクチバスを対象としたストリーマーを、ドロッパー（枝バリ）にはオイカワ、ウグイを対象としたウェットフライを 2 個結んで捕獲を行った。坪井ら<sup>10)</sup>はコクチバスの釣りによる駆除について疑似餌釣りよりもミミズを使った餌釣りのほうが効率がよいと報じているが、今回の調査水域ではコクチバスがオイカワ等の稚魚、カゲロウ目の幼虫を主食としていることが分かっていたため、フライ、ルアーでも効率的に捕獲できると判断した。フライ・ルアーとも調査員は水深 50 cm～70 cm 程度の場所に立ちこみ、下流に向かって釣り下がった。釣りの対象となった範囲は岸から概ね 30m 程度の範囲である。ルアーは調査員 2 名で行った。投網は釣り調査の後に補完的に行った。

捕獲されたコクチバス、オイカワ、ウグイは研究室に持ち帰り、冷凍保管しておき順次解凍して全長と体重を計測した。フライフィッシングでの釣果を CPUE とし全ての漁法による累積採捕尾数、重量との関係を DeLury 法<sup>11)</sup>にあてはめ、本研究の駆除対象となったコクチバスの当初の個体数と重量、駆除した割合を推定した。オイカワ、ウグイについては同じくフライフィッシングでの CPUE とコクチバスの累積採捕量の関係から駆除による効果を検証した。さらに、調査の最終日にあたる 8 月 27 日には、対照区において駆除区と同じ方法でフライフィッシングを行って CPUE を求め、駆除区のそれと比較することで時期的変化の影響について検証した。

## 結果

駆除区において 7 月 16 日から 8 月 27 日の間で延べ 19 回の駆除を行った。調査回次ごとの捕獲状況を表 2 に示した。単位努力となるフライフィッシングは 11 回の調査を行った。そのうち 8 月 2 日は、50 cm 程度立ちこんで自分のつま先が視認できない濁りとなり、そのような条件では釣果が落ちることが経験的にわかっているので単位努力と達していないと判断し、以下の解析には、濁りのない好条件であった調査日、10 回（表 2 の太字）のデータのみを用いた。

フライフィッシングで捕獲されたコクチバスの平均全長を調査日ごとの推移をみると（図 1）、捕獲魚は有意に小さくなった（ $r=-0.824$   $p<0.01$ ）。

フライフィッシングによる CPUE と累積漁獲との関係を DeLury 法にあてはめ、尾数について図 2 に、重量について図 3 に示した。尾数での CPUE（尾/人・時間） $y_i$  は累積漁獲尾数  $x_i$  の増加に伴って減少し、以下の有意な相関式が得られた。

$$y_i = -0.0257x_i + 10.41 \quad r = -0.725 \quad p < 0.05 \dots \textcircled{1}$$

能勢<sup>12)</sup>に基づき①式から駆除区に蟻集したコクチバスの尾数（95%信頼限界値）を計算すると、405 尾（283-1,307 尾）となった。累積漁獲尾数は 246 尾なので、61%を駆除したと推定された。

重量での CPUE（g/人・時間） $y_w$  は累積漁獲重量（g） $x_w$  の増加に伴って減少し、以下の有意な相関式が得られた。

$$y_w = -0.0517x_w + 955.07 \quad r = -0.898 \quad p < 0.01 \dots \textcircled{2}$$

同じく②式から調査区に蟻集したコクチバスの重量（95%信頼限界値）を推定すると 18,473g（15,596-24,082g）となった。累積漁獲重量は 17,293g なので、94%を除去したと推定された。

オイカワは合計で 59 尾（全長範囲 6.0～13.6 cm）、ウグイは 4 尾（全長範囲 7.3～15.2 cm）を捕獲した。コクチバスの累積漁獲重量とオイカワとウグイを合計した CPUE（尾/人・時間）の関係をみると（図 4）、コクチバスの累積漁獲重量の増加とともに、オイカワ、ウグイの CPUE は有意に増加した（ $r=0.722$   $p<0.05$ ）

調査最終日である 8 月 27 日における駆除区と対照区のコクチバス及びオイカワ・ウグイの CPUE（尾/人・時間）を図 5 に示した。駆除区ではコクチバスが少なく

表2 千曲川駆除区における調査回次ごとの採捕状況

回次	月日	釣法 漁法	調査 時間 (h)	コクチ バス 個体数	コクチ バス 重量 g	オイカワ 個体数	ウグイ 個体数	水温℃	備考
<b>1</b>	<b>7/16</b>	<b>フライ</b>	<b>2.5</b>	<b>27</b>	<b>2,114</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20.0</b>	追尾行動あり
<b>2</b>	<b>7/23</b>	<b>フライ</b>	<b>3.0</b>	<b>25</b>	<b>3,186</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>19.0</b>	追尾行動あり
3	7/26	ルアー	3.0	21	1,815	0	0	22.6	追尾行動あり
4	7/26	ルアー	3.0	20	1,696	0	0	22.6	追尾行動あり
5	8/2	フライ	2.0	7	674	0	0	20.1	濁りあり
<b>6</b>	<b>8/5</b>	<b>フライ</b>	<b>2.5</b>	<b>26</b>	<b>1,042</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>24.0</b>	追尾行動あり
<b>7</b>	<b>8/6</b>	<b>フライ</b>	<b>2.5</b>	<b>20</b>	<b>1,402</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>24.5</b>	追尾行動あり
<b>8</b>	<b>8/7</b>	<b>フライ</b>	<b>2.0</b>	<b>6</b>	<b>249</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>23.5</b>	追尾行動あり
<b>9</b>	<b>8/8</b>	<b>フライ</b>	<b>1.0</b>	<b>6</b>	<b>114</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>23.0</b>	追尾行動あり
10	8/8	ルアー	2.3	11	622	0	0	—	追尾行動あり
11	8/8	ルアー	2.5	22	1,699	0	0	—	追尾行動あり
12	8/8	投網	1.0	9	417	1	1	—	15回
<b>13</b>	<b>8/13</b>	<b>フライ</b>	<b>1.0</b>	<b>8</b>	<b>210</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>24.5</b>	追尾行動あり
14	8/13	ルアー	2.0	10	494	0	0	—	追尾行動あり
15	8/13	ルアー	2.5	11	797	0	0	—	追尾行動あり
16	8/13	投網	1.0	3	126	0	0	—	追尾行動あり
<b>17</b>	<b>8/14</b>	<b>フライ</b>	<b>1.5</b>	<b>10</b>	<b>412</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>24.5</b>	追尾行動あり
<b>18</b>	<b>8/15</b>	<b>フライ</b>	<b>1.5</b>	<b>4</b>	<b>161</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>24.0</b>	追尾行動あり
<b>19</b>	<b>8/27</b>	<b>フライ</b>	<b>2.0</b>	<b>5</b>	<b>63</b>	<b>19</b>	<b>0</b>	<b>24.0</b>	対照区と比較
計				251	17,293	62	5		

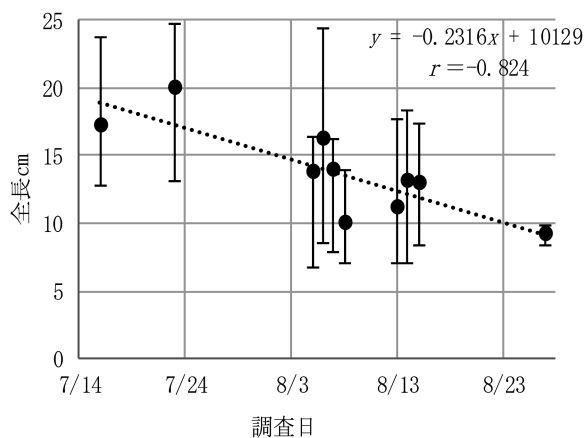


図1 フライフィッシングで捕獲されたコクチバスの平均全長の推移。Iは最大、最小を示す。

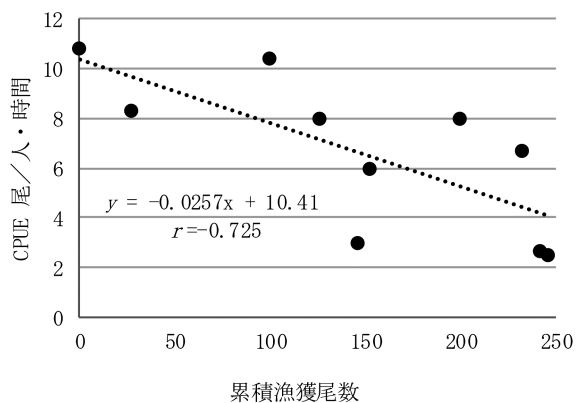


図2 コクチバスの累積漁獲尾数とフライフィッシングによるCPUE(尾数)の関係

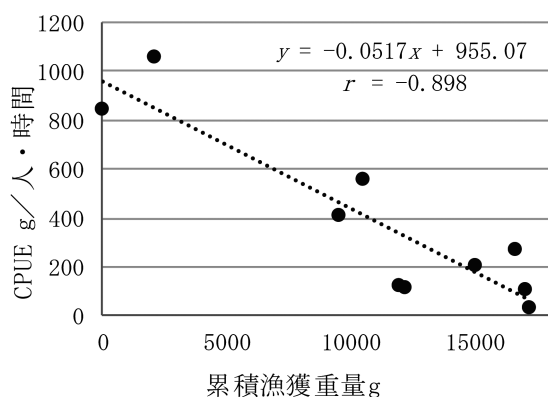


図 3 コクチバスの累積漁獲重量とフライフィッシングによる CPUE (重量) の関係

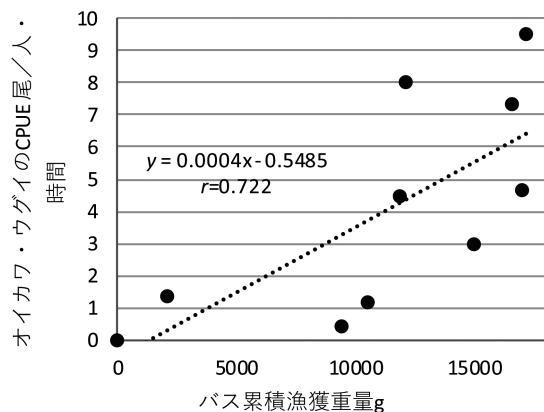


図 4 コクチバスの累積捕獲重量とオイカワ・ウグイの CPUE (尾) の関係

オイカワ・ウグイの釣獲数が多いが、駆除を行っていない対照区ではコクチバスが多く、オイカワ・ウグイは少ない結果となり、駆除区と対照区には有意差があった ( $\chi^2=11.0$   $p=0.89 \times 10^{-4}$ )。

### 考察

河川でのコクチバスの駆除については、那珂川支流の逆川において釣りによって大型魚の生息数を減少させることができたと報じてられている。<sup>5)</sup>また人間川ではショッカーボートによって全長 15 cm 以上のコクチバスは、駆除回数を重ねるごとに CPUE が減少することが報告されている。<sup>6)</sup>これらの知見はいずれも川幅 10~20m の比較的小規模河川での調査によるものであり、大規模河川での駆除効果は不明であった。今回の調査により川幅 50m 程度の千曲川であっても、区域を限定した釣りを主とする駆除によってその区域のコクチバスの生

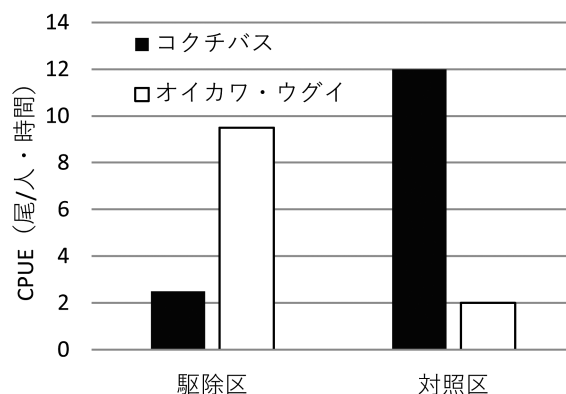


図 5 駆除区と対照区でのフライフィッシングによる CPUE の比較

息量、個体数を減少させることができた。原産地の合衆国では、河川に生息するコクチバスは夏季は定住性が高いことが知られている。<sup>13,14)</sup>千曲川においても夏季には同様に移動しておらず、コクチバス個体数が少ない水域を創出できることがわかった。

群馬県の河川では、コクチバスは水温 15~20℃以上で摂食行動が盛んになり効率的な駆除にはそのような状態が安定的に続く季節が望ましいとされている。<sup>15)</sup>千曲川ではその季節は夏季にあたり、今回は水温が 19.0 から 24.5℃の範囲にあった。コクチバスが捕食目的で蟄集する区域において適切な時期に適切な釣獲方法を採用したことで、重量にして 94%の除去ができたと考える。

今回の調査では、コクチバス累積駆除数の増加、すなわち生息数の減少に伴ってオイカワ、ウグイが釣れるようになる現象が確認された。駆除を行わなかった対照区ではコクチバスが釣れてオイカワ・ウグイが釣れなかったことから(図5)、駆除区でオイカワ・ウグイが釣れるようになった現象が、時期的変化ではないと考える。人工池での実験においてコクチバスの存在下ではウグイの摂食行動の頻度が減少することが知られており、<sup>16)</sup>コクチバスの捕食圧が減ったことで、オイカワ・ウグイの摂食行動が活発となり釣獲 CPUE が増加したと考える。この水域ではコクチバスの大型個体ほどオイカワ等稚魚への捕食圧が強いことが知られており、<sup>7)</sup>大型魚から先に駆除されたこと(図1)も影響したと考える。

以上のことから、千曲川においては区間を絞って短期間に集中的なコクチバス駆除を行えば、オイカワ・ウグイ釣り場を復活させることができることがわかった。特別採捕許可が必要のない「釣り」、「投網」で駆除できる

ので、一般市民、遊漁者を包括して組織化し、このような駆除活動を広範囲にわたって実施する体制づくりが今後の課題と考える。

#### 謝辞

調査にご協力いただいた更埴漁業協同組合に感謝する。本研究は水産庁事業「効果的な外来魚抑制管理技術開発」の一部として行われた。事業の運営にあたった関係機関の皆様に感謝する。

#### 要約

- 1 千曲川では夏季にコクチバスがオイカワ・ウグイ稚魚を捕食するために浅い場所に蟄集する。このような水域においてコクチバスの集中駆除を試み、オイカワ・ウグイの釣獲状況を改善するかを検証した。
- 2 延べ19回の駆除を行い、重量にして94%のコクチバスを除去した。
- 3 コクチバス生息数の減少に伴ってオイカワ、ウグイのCPUEが増加した。千曲川のような大河川においても、区間を絞って短期間に集中的なコクチバス駆除を行えば、オイカワ・ウグイ釣り場が復活することがわかった。

#### 文献

- 1) 河野成実.千曲川におけるコクチバスの動向. 平成19年度長野県水産試験場事業報告,2009;29.
- 2) 河野成実. 千曲川中流域におけるコクチバスの捕獲状況. 平成20年度長野県水産試験場事業報告,2010;12.
- 3) 熊川真二. 埴科郡坂城町の千曲川で捕獲されたコクチバスの食性. 平成19年度長野県水産試験場事業報告, 2009;30.
- 4) 河野成実. 上田地域千曲川及び産川におけるコクチバス・オオクチバスの餌料生物. 平成21年度長野県水産試験場事業報告,2011;24.
- 5) 酒井忠幸. 栃木県那珂川水系におけるコクチバスによ

- る漁業被害抑制手法の確立. 河川流域等外来魚抑制管理技術開発事業報告書, 水産庁,東京,2018;76-85.
- 6) 山口光太郎, 神庭仁, 大力圭太郎. 埼玉県入間川におけるコクチバスの産卵生態と駆除法の解明. 河川流域等外来魚抑制管理技術開発事業報告書. 水産庁,東京, 2018;39-49.
  - 7) 山本聡, 河野成実, 下山諒. 千曲川でのコクチバスによるオイカワ等稚魚の捕食. 平成30年度長野県水産試験場事業報告, 2019;41.
  - 8) 可児藤吉. 溪流性昆虫の生態. 「昆虫」上(古川晴男編), 研究社, 東京. 1944
  - 9) Peterson M I, Kitano S, Ida H. Spawning season and nesting habitat of invasive smallmouth bass *Micropterus dolomieu* in the Chikuma River, Japan. *Ichthyological research*, 2020; 67:1-6.
  - 10) 坪井潤一, 松田圭史. 外来種3種の生態、分布の解明と駆除技術の開発. 河川流域等外来魚抑制管理技術開発事業報告書, 水産庁,東京. 2018;8-25.
  - 11) DeLury D.B. On the estimation of biological populations. *Biometrics*,1947;3:145-167.
  - 12) 能勢幸雄. Deluryの資源量推定法の推定値に対する信頼区間について、日水誌. 1959;24(12):953-956.
  - 13) Todd B L, Rebeni C F. Movement and habitat use by stream-dwelling smallmouth bass. *Transactions of the American of Fisheries Society*, 1989;118:229-242.
  - 14) Lyons J, Kanehl P. Seasonal movements of smallmouth bass in streams. *American of Fisheries Society symposium*, 2002;31:149-160.
  - 15) 田中英樹, 鈴木究真, 小野関由美, 泉庄太郎, 青柳久仁子, 久下敏宏. 群馬県内の河川に生息するコクチバスの食性. 群馬水試研究報告, 2014;20:1-12.
  - 16) Katano O, Aonuma Y. An experimental study of the effects of smallmouth bass on the behavior, growth and survival of prey fish. *Fisheries science*, 2002;68:803-814.



# 諏訪湖におけるワカサギの耳石輪紋による年齢査定

星河廣樹・田代誠也

## Age determination of pond smelt *Hypomesus nipponensis* using otolith phase in Suwa Lake

Hiroki Hoshikawa, Seiya Tashiro

ワカサギ *Hypomesus nipponensis* は、諏訪湖における漁業対象として最重要種である。食材として利用されるだけでなく、放流用種卵として全国に出荷され、近年人気となっているワカサギ釣りを支えている。しかし、その漁獲量は、1970年の330トンピークに、<sup>1)</sup>2010年代には9から23トンまで減少した。<sup>2)</sup>減少傾向にある資源を持続的に活用していくために、諏訪湖では漁業および遊漁の漁獲量や時間などに自主規制を設ける資源管理が重要になっている。<sup>4)</sup>この資源管理の基礎は、資源の主体となる0+魚の成長・成熟の推移や魚群探知機による資源尾数の推定値などの知見であり、ワカサギの年齢、0+魚か1+魚かを明確に区別する必要がある。ワカサギの年齢査定は、松崎、<sup>5)</sup>小林、<sup>6)</sup>雨宮、<sup>7)</sup>檜山<sup>7)</sup>および浜田<sup>8)</sup>が報告した鱗を用いる方法や、白石<sup>9)</sup>が述べたように体長組成を用いる方法がある。諏訪湖では諏訪湖漁業協同組合（以下、漁協とする）が採捕したワカサギは、小公および大公と称される区分に分けて販売されている。<sup>10)</sup>小公および大公とは、体長組成による区分だが、両者の体長組成が重ならない限り基本的には年齢の違いを反映した区分となり、それぞれ0+魚および1+魚を表す。しかし、両者の体長組成の裾野が重複することがあり、その場合は耳石による年齢査定が必要となる。Katayama and Kawasaki<sup>11)</sup>は小川原湖において、耳石輪紋に第2透明帯がある個体を1歳魚（本研究での1+魚）として年齢査定できるとし、諏訪湖を含む全国の湖沼から採取したサンプルを用い、この年齢査定法が全国的に有効と報告した。その後、Sasaki *et al.*<sup>12)</sup>は閉伊川において、0+年魚（本研究での0+魚）の時に耳石に第1不透明帯が形成され、1+年魚（本研究での1+魚）の時に第2不透明帯が形成されるとして、第2不透明帯の有無で産卵親魚の年齢査定が可能と報告した。

しかし、諏訪湖で耳石輪紋により0+魚および1+魚の年齢査定を試みた際、従来の知見<sup>11)、12)</sup>とは異なり、第1不透明帯中に「幅の狭い透明帯」（以下、「狭帯」とする）を持つ個体が見られた。これを年齢形質として有効な透明帯（第1透明帯や第2透明帯）として計数してよいかは不明であった。耳石の年輪形成については一般に魚体

の成長の大きな時期に不透明帯（夏季帯）ができ、成長の小さい時期に透明帯（冬帯）ができるが、この反対の場合もあるとされる。<sup>13)</sup>輪紋が年齢形質として有効かどうかは、輪紋形成に関して季節性、同調性を確認する必要がある。<sup>14)</sup>そこで諏訪湖におけるワカサギの耳石輪紋の形成状況を周年観察し、この「狭帯」が生殖に伴って生ずることが分かったので、年齢査定方法について提案する。

### 材料と方法

**供試魚の計測** 本研究には2018年6月から2019年3月に漁協が諏訪湖内で月一回試験採捕した個体に加え2019年4月および5月に筆者らが諏訪湖に流入する産卵河川である承知川で採捕した遡上親魚を供試した。漁協が採捕したワカサギは小公および大公に分別されて、当场へ持ち込まれるので、本研究でもその区分に従った。供試魚は調査ごとに生鮮状態のまま、デジタルノギス（ミツトヨ製 CD-20CX）を用いて体長（0.01mm 単位）を計測し、2mm ごとの階級に集計して体長組成を求めた。また、3月から5月に採捕した個体は開腹し、雌雄および成熟状況を判別した。雌については排卵されて透明感がない卵を持つ個体を『排卵前』、排卵されて透明感がある卵を持つ個体を『排卵後』および腹腔内にわずかな卵が残る個体を『産卵後』として、雄については腹部を押して精子が出ない個体を『放精前』、腹部を押して精子が滲む個体を『放精可』および精巣に透明な部分がある個体や精巣が委縮した個体を『放精後』として、生殖腺が見当たらない個体を『雌雄不明』とした。

**耳石の観察** 湖内での採捕個体は小公および大公それぞれから、体長組成全体を網羅するように無作為に毎月10尾を目途に、また、遡上河川での採捕個体は全個体を耳石の観察に供試した。耳石は左右1対の扁平石を取り出し、水洗して表面の組織を除去し、一度風乾させた後、グリセリンに24時間以上浸漬した。<sup>11)</sup>原則として右側の耳石を用いたが、破損や紛失の場合は左側の耳石を用い

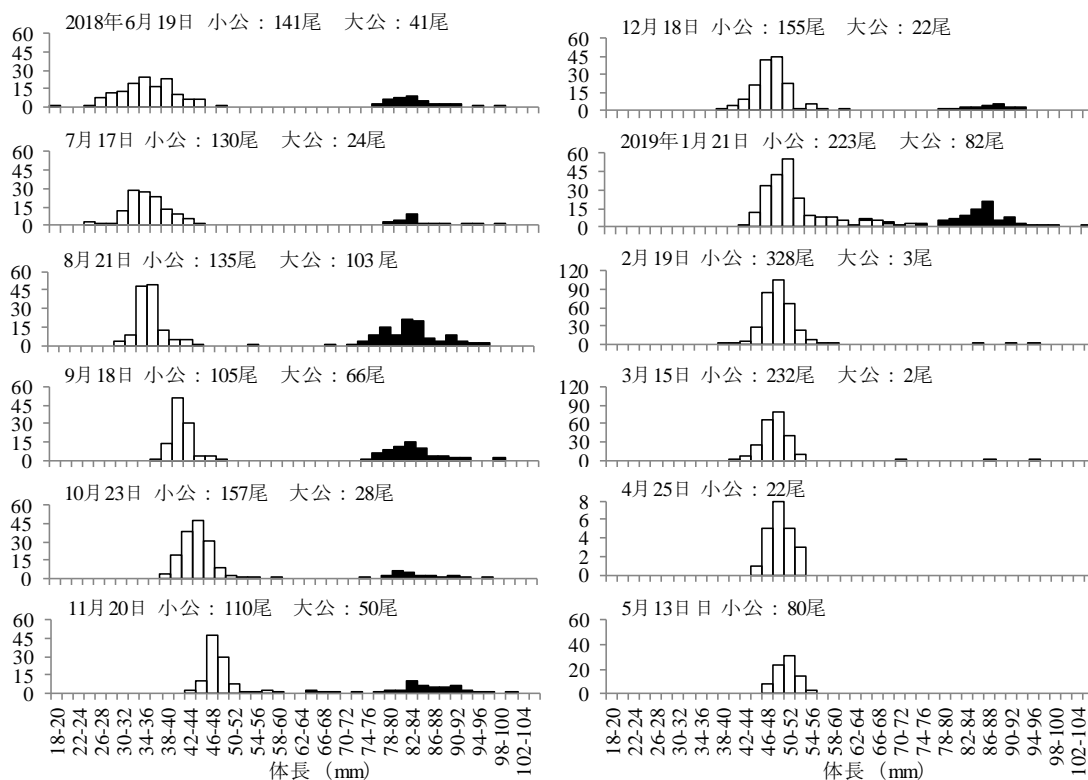


図1 各月におけるワカサギの体長組成  
白が小公、黒が大公を示す。

た。耳石輪紋の観察は光学顕微鏡(ニコン製LABOPHOT)を使用し、グリセリンに浸漬した状態で耳石の体外面を上にしてスライドガラスにのせ、反射光下で40倍に拡大した。透明帯、不透明帯の形成状況を記録するとともに、顕微鏡に接続したデジタルカメラ(ニコン製COOLPIX990)により写真を撮影した。

「狭帯」の形成状況は、耳石の尾側周縁部を観察した。形成状況の判断は、透明帯が形成されていない個体を『未形成』、透明帯の一部が繋がっていない個体を『形成中』、透明帯が繋がっている個体を『形成』、透明帯の外側が半透明や不透明帯になっている個体を『形成後』とした。また、2018年6月から2019年3月に湖内で採捕された大公の第1不透明帯中での「狭帯」の有無を確認した。

## 結果

**体長組成** 2018年6月から翌年5月の供試魚2,239尾の体長組成を図1に示した。6月から翌年1月の体長組成は大きく2峰で、小型群は小公、大型群は大公から構成されていた。しかし、11月および1月の体長組成は、小型群および大型群の組成が近接しており、両群の間では小公および大公が混在した。また、2月および3月は小型群の単峰であったが、大型個体もわずかに見られた。

6月から翌年1月の小型群の最頻値は、それぞれ34-36mm、32-34mm、36-38mm、40-42mm、44-46mm、46-48mm、48-50mmおよび50-52mmで、7月を除き時間が経つごとに大きくなった。2月および3月の最頻値は48-50mmで、1月の50-52mmよりわずかに小さかった。産卵河川で採捕された4月および5月の最頻値は、それぞれ48-50mmおよび50-52mmで、1月と大きく変わらなかった。一方、大型群の6月から翌年1月の最頻値は、それぞれ82-84mm、82-84mm、82-84mm、82-84mm、80-82mm、82-84mm、88-90mmおよび86-88mmで、10月を除き11月まで変化がなく、12月および1月では11月よりわずかに大きかった。

**耳石輪紋の観察** 小公および大公の耳石輪紋の観察は、それぞれ155尾および89尾実施した。小公の耳石輪紋は中心に不透明核(OC)があり、その周辺に第1透明帯(T1)、次いで第1不透明帯(O1)が形成され、5月13日に採捕した個体では周縁部に「狭帯」が見られた(図2A)。大公でもO1までは同様に形成されており、その外側に第2透明帯(T2)、次いで第2不透明帯(O2)が形成され(図2B)、一部の個体でO1内に「狭帯」が見られた。

小公の耳石周縁部は、6月から8月には全ての個体が

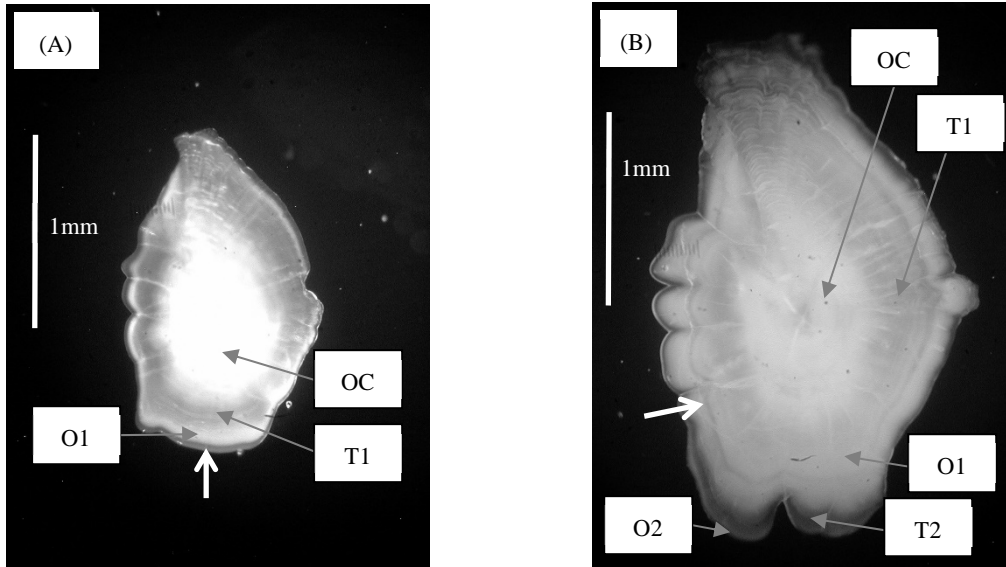


図2 ワカサギの耳石

(A)は小公(2019年5月13日採捕)、(B)は大公(2019年1月21日)

OC: 不透明核、T1: 第1透明帯、O1: 第1不透明帯、T2: 第2透明帯、O2: 第2不透明帯  
 白い矢印は「狭帯」を示す。

OCであった(図3A)。T1の形成は9月から始まった。T1を持つ個体の割合は、9月の20.0%から10月の90.0%に急増した。O1の形成は11月から始まった。11月から翌年5月のO1を持つ個体の割合は、それぞれ9.1%、36.4%、60.0%、71.4%、25.0%、90.9%および100%で、3月を除き時間が経つにつれて高くなり、5月に100%に達した。また、12月には前後の月では確認されていないT2を持つ個体が1尾確認された。大公の耳石周縁部は、6月には全ての個体がO1であった(図3B)。T2の形成は7月から始まった。7月から10月のT2を持つ個体の割合は、10.0%、50.0%、100%および100%で、時間が経つにつれて高くなり、9月までに100%に達した。O2の形成は11月から始まった。11月から翌年3月のO2を持つ個体の割合は、7.7%、50.0%、30.0%、33.3%および100%

で、11月から12月に増加して以降、2月まで減少し、3月に100%まで急増した。また、11月および1月には前後の月で確認されていないT1およびO1を持つ個体が計6尾確認された。

小公の「狭帯」の形成状況確認は152尾実施した。「狭帯」は、3月には6.3%の個体で『形成中』であったが、4月には『形成中』および『形成』が、それぞれ45.5%および54.5%で全ての個体で形成段階に入っていた(図4)。5月7日、5月13日および5月24日の『形成後』の個体の割合は、それぞれ60.2%、79.3%、および100%で、4月から1か月以内に全ての個体で「狭帯」の形成が終了していた。「狭帯」は、ほとんどの個体でO1の形成後に見られたが、T1の外側がさらに透明となって形成される場合も6尾で見られた。

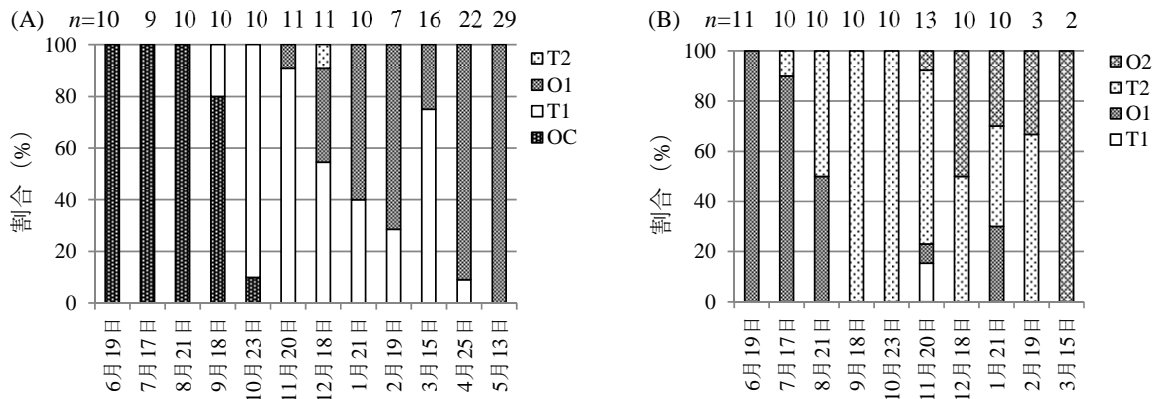


図3 各月におけるワカサギの耳石周縁部で各輪紋を示す個体の割合

(A)は小公、(B)は大公

OC: 不透明核、T1: 第1透明帯、O1: 第1不透明帯、T2: 第2透明帯、O2: 第2不透明帯

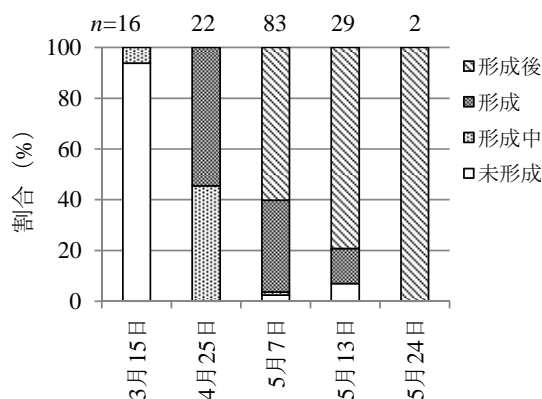


図4 3月から5月における小公の耳石周縁部での「狭帯」の形成状況

「狭帯」の形成状況について雌雄の成熟状況ごとに3月から5月まで合計したものを図5に示した。雌では『排卵前』で「狭帯」の形成が始まっており、『形成中』および『形成』の割合が、それぞれ21.4%および14.3%で、合計35.7%であった。『排卵後』では『形成中』、『形成』および『形成後』の割合が、それぞれ11.8%、64.7%および23.5%で全ての個体で形成段階に入っていた。『産卵後』では『形成中』、『形成』および『形成後』の割合が、それぞれ26.7%、53.3%および13.3%で合計93.3%が形成段階に入っていたが、『未形成』が6.7%出現した。雄では『放精前』で「狭帯」の形成が始まっており、『形成中』および『形成』の割合が、それぞれ22.2%および11.1%で、合計33.3%であった。『放精可』では『形成』および『形成後』の割合が、それぞれ28.6%および67.1%で合計95.7%が形成段階に入っていたが、『未形成』が4.3%出現した。『放精後』では『形成中』、『形成』および『形成後』の割合が、それぞれ3.9%、11.5%および84.6%で全ての個体で形成段階に入っていた。また、『雌雄不明』の1尾は『形成』であった。

湖内で採捕された大公のO1中での「狭帯」の有無確認は89尾実施した。調査期間全体での「狭帯」を持つ個

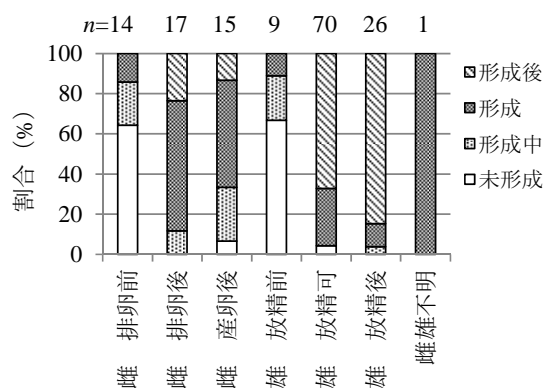


図5 3月から5月までの成熟状況ごとの小公の耳石周縁部での「狭帯」の形成状況

体の割合は65.2%であった。また、3月に湖内で採捕された大公2尾の耳石周縁部での「狭帯」は『未形成』であった。なお、4月および5月に承知川で大公は採捕されなかった。

### 考 察

本調査期間における諏訪湖でのワカサギの体長組成は、10月までは明瞭に分布が2つに分かれており、白石<sup>9)</sup>が指摘するように体長による年齢査定が可能であった。しかし、11月以降小公の大型個体の大きさが大公に追いついたため、体長組成による年齢査定は一部の個体で不正確になった。より正確な年齢査定を行うためには、この時期以降は体長組成に加えて耳石輪紋観察も追加する必要がある。本研究結果から、諏訪湖におけるワカサギの耳石輪紋の形成過程を時系列に沿って整理すると以下の通りになる。

- ① 生後から10月にかけて耳石の中心部から周縁部に不透明核が形成される。
- ② 9月から翌年5月上旬にかけて第1透明帯が形成される。第1透明帯を持つ個体の割合は、10月に90%に達する。
- ③ 11月から翌年8月にかけて第1不透明帯が形成される。第1不透明帯を持つ個体の割合は、4月に90%に達する。
- ④ 4月から5月中旬に「狭帯」が形成される。
- ⑤ 越年した小公は大公となり、7月以降、第2透明帯が形成される。第2透明帯を持つ個体の割合は、9月に100%に達する。
- ⑥ 11月以降、第2不透明帯の形成が始まる。

諏訪湖のワカサギでは上述した耳石輪紋形成過程が見られた。同じ時期での耳石輪紋の形成状況が小公および大公で異なり、6月から8月に第1不透明帯を持つ個体および7月以降に第2透明帯を持つ個体は1+魚、それ以外は0+魚と判断できた。この判断基準に従って、年齢形質を示す透明帯(T1、T2)と「狭帯」を区分して年齢を査定したところ、11月から1月の小公1尾と大公6尾は、それぞれ1+魚、0+魚と判断された。これらの体長は、両年齢群の体長組成の重複する範囲にあり、体長による年齢査定が困難な場合での耳石輪紋による年齢査定は有効と考えられる。小公および大公を耳石による年齢査定で0+魚および1+魚に整理し直すと図3は図6になる。11月から1月までに、0+魚の耳石周縁部に第1不透明帯を持つ個体の割合は、それぞれ14.3%、40.0%および69.2%で、1+魚の耳石周縁部に第2不透明帯を持つ個体の割合



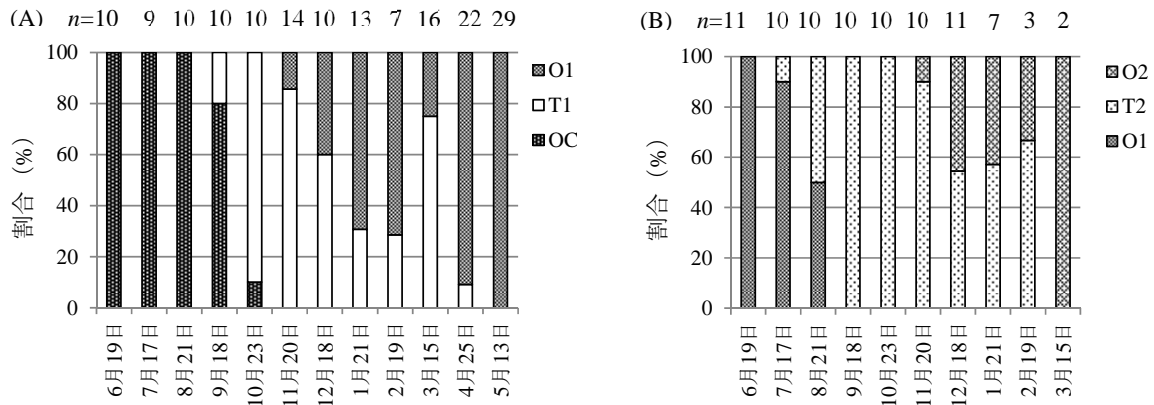


図6 耳石による年齢査定で区分したワカサギの耳石周縁部で各輪紋を示す個体の割合

(A)は0+魚、(B)は1+魚

OC：不透明核、T1：第1透明帯、O1：第1不透明帯、T2：第2透明帯、O2：第2不透明帯

は、それぞれ 10.0%、45.5%および 42.9%となる。また、1+魚 84 尾で「狭帯」を持つ個体の割合は 69.0%となる。

各輪紋の形成時期について他地域と比較すると、Katayama and Kawasaki<sup>11)</sup>は小川原湖では第1透明帯が8月、第1不透明帯が12月、第2透明帯が7月から形成されると報告している。また、Sasaki *et al.*<sup>12)</sup>は閉伊川では第1透明帯が8月から11月、第1不透明帯が10月から4月、第2透明帯が5月から9月に形成されると報告している。諏訪湖、小川原湖および閉伊川での各輪紋の形成時期は若干の差があるが、諏訪湖で確認された「狭帯」の形成を除くと全体的に似た傾向となっており、第2透明帯形成がそれぞれの地域での産卵期以降になる点で一致する。

本研究で「狭帯」とした透明帯は、主に4月から5月下旬の1か月間に形成されていた。この期間は2019年における諏訪湖でのワカサギの産卵盛期から産卵後に相当した(漁協私信)。久保、吉原は、<sup>13)</sup>性的成熟の開始、生殖腺の成熟、生殖などによって耳石に生殖記号が形成されるとしている。産卵河川で採捕した排卵前の雌および放精前の雄には既に「狭帯」の形成が完了した個体があったことから、「狭帯」は繁殖行動に向けた最終成熟の影響で形成が始まる生殖記号と考える。なお、「狭帯」は雌雄を問わず形成されていたため、本研究では産卵記号ではなく生殖記号の名称を使用した。

他地域での生殖記号の知見については、小川原湖では透明帯が形成されている8月から11月は成長停滞期ではなく、さらに当地での産卵期は3月から4月としており<sup>11)</sup>、生殖記号を確認していない。また、佐々木<sup>15)</sup>は閉伊川では第2透明帯が産卵(4月から6月)の前後にかけて、成熟のために成長が遅れて形成された産卵記号であると考察している。その形成期間は9月まで継続して

おり、1か月間で終了する諏訪湖と比べて長く、この間の透明帯の形成要因を産卵後の影響のみとする点については疑問がある。いずれにしても、1+魚の時に形成される透明帯が第2透明帯1本のみであるため、第2透明帯が産卵記号である点は年齢形質として特に問題視されていない。一方、諏訪湖のように生殖記号が第2透明帯とは別に見られる場合、これを第2透明帯と計数すると、本来の年齢より1歳過大に査定することになる。さらに生殖記号を持つ個体の割合は、産卵期における0+魚でほぼ100%であったが、調査期間全体での1+魚で69.0%となった。全ての1+魚で必ずしも生殖記号を持たないことから、生殖記号を年齢形質を示す透明帯として計数することは、同調性の観点から適切ではない。生殖記号は第1透明帯および第2透明帯より形成期間が短く、その幅は20から30 $\mu$ m程度と細い。そのため、両者に挟まれた20から30 $\mu$ m程度の透明帯を計数しないことで、年齢は正しく査定できる。

1+魚で生殖記号を持たない個体が出現する理由として、未成魚では生殖記号が形成されない可能性が挙げられるが、未成魚および繁殖行動後時間が経った成魚を肉眼で区別することは難しく<sup>16)</sup>、本研究で得られた雌雄不明個体がいずれかは判断できなかった。未成魚での生殖記号の形成状況を把握するためには、生殖腺の組織観察を併せて調査することが必要であろう。また、本研究では産卵河川で1+魚が採捕されておらず、1+魚での最終成熟で生殖記号が形成されるかは今後の課題となった。

生殖記号の形成は諏訪湖に近い長野県茅野市の白樺湖でも観察されているが(星河未発表)、これらの湖以外での生殖記号形成の実態は明らかでない。産卵期前後での生殖記号形成の有無を確認することで、他の湖沼においても年齢査定 of 確度向上が期待できる。

## 要 約

- 1 諏訪湖におけるワカサギの耳石輪紋の形成状況を周年観察し、生殖に伴って「幅の狭い透明帯」が生ずることが分かったので、年齢査定方法について提案した。
- 2 本調査期間における体長組成は、10月までは明瞭に分布が2つに分かれていたが、11月以降、小公の大型個体の大きさが、大公に追いついたため、体長による年齢査定は一部の個体で不正確であった。
- 3 耳石を周年観察したところ、6月から8月に第1不透明帯を持つ個体および7月以降に第2透明帯を持つ個体は1+魚、それ以外は0+魚と判断できた。
- 4 産卵河川で採捕した排卵前の雌および放精前の雄には既に「幅の狭い透明帯」の形成が完了した個体がいることから、「幅の狭い透明帯」は繁殖行動に向けた最終成熟の影響で形成が始まる生殖記号と考えられる。
- 5 全ての1+魚で必ずしも生殖記号を持たないことから、生殖記号を年齢形質を示す透明帯として計数することは、同調性の観点から適切ではない。第1透明帯および第2透明帯に挟まれた20から30 $\mu$ m程度の透明帯を計数しないことで、年齢は正しく査定できる。
- 6 諏訪湖、小川原湖、閉伊川および白樺湖以外での生殖記号形成の実態は明らかでない。産卵期前後での生殖記号形成の有無を確認することで、他の湖沼においても年齢査定 の 確 度 向 上 が 期 待 可 能 である。

## 謝 辞

本研究を報告するにあたり、試験採捕したワカサギをご提供いただき、また、調査への特別採捕許可申請に同意して下さった諏訪湖漁業協同組合に感謝申し上げます。

## 文 献

- 1) 倉沢秀夫. 過去80余年間(1895~1978)における諏訪湖の年間捕獲量およびその出荷金額高の経年変化—諏訪湖漁業協同組合, 其の他の資料による—. 信州大学理学部附属諏訪臨湖実験所報告 1980; 3: 1-47.
- 2) 平成22~25年度事業報告書. 諏訪湖漁業協同組合, 諏訪. 2011~2014.
- 3) 平成26~31年度事業概況書. 諏訪湖漁業協同組合, 諏訪. 2015~2020.

- 4) 星河廣樹. 長野県におけるワカサギの資源管理と課題. 海洋と生物 2016; 38 (5): 516-522.
- 5) 松崎冬次. 公魚の年齢と成長度. 水産研究誌 1914; 9 (1): 12-14.
- 6) 小林久雄. 鱗相によって判明するワカサギの生態. 科学 1936; 6 (3): 100-102.
- 7) 雨宮育作, 檜山義夫. 公魚の産卵及び年齢に就きて. 水産学会報 1940; 8 (1): 45-62.
- 8) 浜田啓吉. ワカサギの生態学的研究-1. 日本水産学会誌 1953; 19 (2): 75-78.
- 9) 白石芳一. ワカサギの水産生物学的ならびに資源生物学的研究. 淡水区水産研究所研究報告 1961; 10 (3): 1-263.
- 10) 武居 薫. 魚介類の移り変わり. 「アオコが消えた諏訪湖」(沖野外輝夫・花里孝幸編) 信濃毎日新聞社, 長野. 2005; 288-319.
- 11) Katayama S, Kawasaki T. Age Determination of Pond Smelt Using Otolith Phase. Tohoku Journal of Agricultural Research 1994; 44 (1-4): 91-106.
- 12) Sasaki T, Saruwatari T, Watanabe S. Age Composition of Anadromous Wakasagi, *Hypomesus nipponensis*, Upstream in the Hei River in Iwate. Suisanzoshoku 2004; 52 (4): 325-328.
- 13) 久保伊津男, 吉原友吉. 水産資源学. 共立出版, 東京. 1957.
- 14) 飯塚景記, 片山知史. 日本産硬骨魚類の耳石の外部形態に関する研究. 水産総合研究センター研究報告 2008; 25: 1-222.
- 15) 佐々木 剛. 岩手県閉伊川におけるワカサギ *Hypomesus nipponensis* の生物資源学的研究. 博士論文, 東京水産大学, 東京. 2003.
- 16) 宇藤 均, 坂崎繁樹. 網走湖産ワカサギの生活史第2報. 北水試月報 1984; 41(11): 447-459.

# ニジマスの IHN と冷水病の混合感染症に対する スルフィゾールナトリウム製剤投与による被害の軽減

新海孝昌・降幡 充・川之辺素一・竹花孝太・近藤博文

Reduction of damage caused by administration of sodium sulfisozol for co-infection of rainbow trout with infectious hematopoietic necrosis and cold water disease

Takamasa Shinkai, Mitsuru Furihata, Motokazu Kawanobe, Kota Takehana and Hirohumi Kondo

ウイルス性疾病の伝染性造血器壊死症 (Infectious Hematopoietic Necrosis: IHN) は1971年<sup>1)</sup>に北海道で、また、細菌性疾病の冷水病は1990年<sup>2)</sup>に宮城県及び岩手県で発生が報告され、多くのサケ科魚類に被害を与えている。全国養鱒技術協議会に属する水産試験場等が1978年から2002年の25年間に実施した養殖サケ科魚類の疾病実態調査では、大型魚における疾病と混合感染症が問題で、有効な治療法が確立していないIHN、サケ科魚類のヘルペスウイルス病、レンサ球菌症及び冷水病の関与が大きいとしている。<sup>3)</sup> また、近年では、ニジマスではIHNと冷水病の混合感染が多くなっている。<sup>4)</sup>

冷水病に対する疾病対策は、ニジマスに対してはスルフィゾールナトリウム (SIZ) 製剤 (製品名 イスランソード) が水産用医薬品として1999年に承認され、2020年にはサケ科魚類に対してフロルフェニコール製剤 (製品名水産用フロルフェニコール2%液「KS」) も承認され、冷水病の単独疾病には対処できるようになった。しかし、IHNに対する疾病対策は有効な治療薬やワクチンがないため、衛生管理、親魚選別及び卵消毒を柱とした防除対策が重要であるが、ニジマス等をIHNウイルス汚染環境下で養殖せざるをえない主産地ではウイルスの排除は困難な状況となっている。<sup>5)</sup> IHNと冷水病の混合感染症に対処する有効な治療法が無い場合、IHN対策で行われてきた餌止め、飼育環境の向上や冷水病対策としての投薬など、被害の軽減対策を行ってきているが、<sup>6)</sup> その効果は明らかになっていない。

本研究ではニジマスの IHN と冷水病の混合感染症に対する被害軽減対策として SIZ 製剤投与の有効性と投与時期について検討した。

## 材料と方法

### 供試魚

供試魚は長野県水産試験場で継代飼育しているニジマスを用い、試験に供するまで防疫施設内で飼育した。供試魚の平均体重は第1回次から第4回次試験においてそれぞれ、3.1g、61g、20g、及び5gであった。試験開始までIHN及び冷水病の発生はなかった。なお、第1回次試験では場内の屋外FRP水槽に収容後、IHNと冷水病の混合感染症が発生した群を用いた。

### 自然感染による投薬試験

自然感染試験は長野県水産試験場内の屋外FRP水槽(1.2×5.7×0.4m)に供試魚を収容し、飼育水は上流にある民間養鱒場の飼育排水が入る湧水由来の用水を用いた。この用水で飼育するとIHNと冷水病の混合感染症が発生することがわかっている。

既に試験開始時にIHNと冷水病の混合感染症が発生していた第1回次試験は16日間の餌止めを行った後、第2及び第3回次試験は本混合感染症の発生を確認した後に、それぞれ魚体重1kgあたり200mgのSIZ製剤を飼料に添加し、7日間投薬する投薬区と同量の飼料のみを給餌する対照区を1区ずつ設けた。投薬前の給餌量はライトリッツ給餌率表の100%量、投薬中及び投薬後は同表の50%量とした。第4回次試験では投薬前の餌止めの効果を検討するため、前回次試験と同様な試験区に加え、投薬前に餌止めを7日間行う餌止め投薬区とその反復区を設けた。

試験期間中、毎日死亡尾数を確認し、累積死亡率を算出した。疾病の終息は死亡が2日間連続で無い日とした。死亡魚の一部は病理検査を行い、投薬前、投薬中及び投薬後に区分し、それぞれ7日間の病原体の分離状況を比較した。第4回次試験は、餌止め投薬区の治療期間が14日間のため、投薬区及び対照区の投薬後の観察期間を14日間とした。

IHNと冷水病の混合感染症の発生確認日は、死亡魚にIHNと冷水病の主要症状が現れ、腎臓あるいは脾臓組織のメチレンブルー単染色標本の検鏡により

*Flavobacterium psychrophilum* (以下、冷水病菌) が観察された日とした。

IHN ウイルスと冷水病菌の感染状況を確認するため、第1回次試験を除き、投薬直前の死亡4個体について直ちに腎臓組織のIHN ウイルス感染価及び冷水病菌生菌数を測定した。第2回次試験では発生直前に加えて投薬中及び投薬後期間の最終日に脾臓組織も対象にして同様に測定した。分離されたIHN ウイルス及び冷水病菌は、(公社)日本水産資源保護協会から提供された抗IHN ウイルス及び抗冷水病菌家兔血清を用いて同定した。

**病理検査**

死亡魚の外部観察及び剖検、検鏡による鰓と体表の外部寄生虫検査、腎臓組織塗抹標本のメチレンブルー単染色による検鏡、改変サイトファーガ寒天培地及びトリプトソーヤ寒天培地を用いて常法に従い腎臓からの細菌分離を行い、15°Cで7日間の培養を行った。ウイルス検査は腎臓の一部を摘出後、直ちに-80°Cに保存し、後日以下の方法により検査を行った。腎臓組織を抗生物質入り Hanks' Balanced Salt Solution (penicillin-G 800I.U./mL, streptomycin 800µg/mL, nystatin 200 unit/mL in Hanks' BSS) で10倍に希釈して摩砕し、遠心分離 (2,000 rpm 10分, 4°C)後、上清をさらに Hanks' BSS で10倍に希釈した。15°Cで3時間静置後、RTG-2細胞に接種し、15°Cで14日間観察した。

腎臓及び脾臓のIHN ウイルス感染価及び冷水病菌生菌数は、少量の滅菌珪砂を入れた滅菌乳鉢に組織を摘出し、滅菌リン酸緩衝生理食塩水を9倍量添加し、乳棒で磨砕した。磨砕液を1.5mL チューブに移し、4°Cで30分間静置した上清を原液として、IHN ウイルス感染価はRTG-2細胞を用いて50%終末点法、冷水病菌生菌数は改変サイトファーガ寒天培地を用いてミスラ法により測定し、臓

器1g当たりの値を算出した。

**統計解析**

累積死亡率及び各疾病の期間毎の病原体分離率の有意差判定は第1、第2及び第3回次試験はχ<sup>2</sup>検定あるいはフィッシャーの正確確率検定、第4回次試験は多重比較検定のBonferroni法により行った。

**結果**

**累積死亡率**

第1回次試験の投薬区及び対照区は収容時から死亡が発生していたため、両区とも収容後16日間餌止め処置を行い、収容後17日目から投薬を開始した(図1)。第2回次試験の投薬区及び対照区はそれぞれ収容後13及び15日目から死亡が始まり、両区とも27日目に混合感染症を確認し、同日投薬を開始した。第3回次試験の投薬区及び対照区はそれぞれ収容後8及び7日目から死亡が始まり、両区とも11日目に混合感染症を確認し、同日投薬を開始した。第4回次試験の投薬区、餌止め投薬区1及び餌止め投薬区2はいずれの区も収容後8日目に死亡が始まった時点で、全ての区に混合感染症を確認したため同日投薬等を開始した。

投薬直前の死亡魚の腎臓組織におけるIHN ウイルス感染価及び冷水病菌生菌数はそれぞれ10<sup>6</sup> TCID<sub>50</sub>/g以上及び10<sup>6</sup> CFU/g以上と、いずれも死亡に至る臨界値を示し、<sup>5), 7), 8)</sup>混合感染症であると確認された(表1)。第2回次試験における投薬中及び投薬後期間の死亡魚の腎臓組織も高い値を示し、脾臓組織も同様であった。

分離されたIHN ウイルスは中和試験、冷水病菌はスライド凝集試験により陽性であった。

表1 IHNと冷水病の混合感染症の自然感染試験における死亡したニジマスの腎臓及び脾臓組織のIHN ウイルス感染価及び冷水病菌生菌数

試験回次	試験区名	検査臓器	IHNV感染価( log TCID <sub>50</sub> /g)			冷水病菌生菌数( log CFU/g)		
			投薬直前	投薬中7日目	投薬後7日目	投薬直前	投薬中7日目	投薬後7日目
2	投薬区	腎臓	6.5±0.4	7.7±0.1	5.4±1.2	6.7±1.0	5.4±0.6	5.6±0.8
		脾臓	7.8±0.4	8.4±1.2	5.9±0.9	7.1±0.2	5.6±0.7	6.6±0.9
	対照区	腎臓	5.8±0.2	7.6±0.6	4.4±0.4	6.0±1.2	7.1±1.3	5.9±1.0
		脾臓	6.2±0.8	8.2±0.6	6.0±1.9	6.0±1.1	7.4±0.4	6.0±0.2
3	投薬区	腎臓	6.9±0.6	-	-	6.7±0.7	-	-
	対照区	腎臓	7.1±0.7	-	-	6.8±0.6	-	-
4	投薬区	腎臓	9.2±0.2	-	-	7.5±0.4	-	-
	餌止め投薬区1	腎臓	9.4±0.6	-	-	7.7±0.6	-	-
		腎臓	9.1±0.2	-	-	7.5±0.2	-	-
	対照区	腎臓	9.4±0.5	-	-	7.2±0.1	-	-

数値は平均値 ± S.D. (n=4) を示す



第1回次試験の投薬区は試験期間内に死亡尾数は減ったものの、終息しなかった。第2及び第3回次試験の投薬区はそれぞれ死亡開始から22及び14日目に終息した。同対照区はいずれも試験期間内に終息しなかった。

第1、第2及び第3回次試験の対照区の累積死亡率はそれぞれ44.4、61.0及び54.9%に対し、投薬区の累積死亡率はそれぞれ35.4、50.0及び38.7%であった(表2)。投薬区は対照区に比べ有意に低かった( $p < 0.05$ )。投薬区の死亡は

表2 IHNと冷水病の混合感染症の自然感染試験におけるSIZを投与したニジマスの累積死亡尾数

試験回次	試験区	試験期間	平均体重(g)	供試尾数(尾)	死亡尾数(尾)	累積死亡率(%)
1	投薬区	2015.5.27~6.30 (33日間)	3.1	7,000	2,478	35.4*
	対照区			7,000	3,108	44.4
2	投薬区	2016.1.7~2.22 (47日間)	61	404	202	50.0*
	対照区			385	235	61.0
3	投薬区	2016.10.6~11.1 (27日間)	20	204	79	38.7*
	対照区			204	112	54.9
4	投薬区	2017.5.17~6.13 (27日間)	5	8,200	1,374	16.8 <sup>a</sup>
	餌止め投薬区1			8,200	2,023	24.7 <sup>b</sup>
	餌止め投薬区2			8,200	2,022	24.7 <sup>b</sup>
	対照区			8,200	2,485	30.3 <sup>c</sup>

\*は同試験回次の同時期の対照区に対して有意差あり( $\chi^2$ 検定、 $p < 0.05$ )。

a、b、cは異なる符号間で有意差あり(Bonferroni法、 $p < 0.01$ )

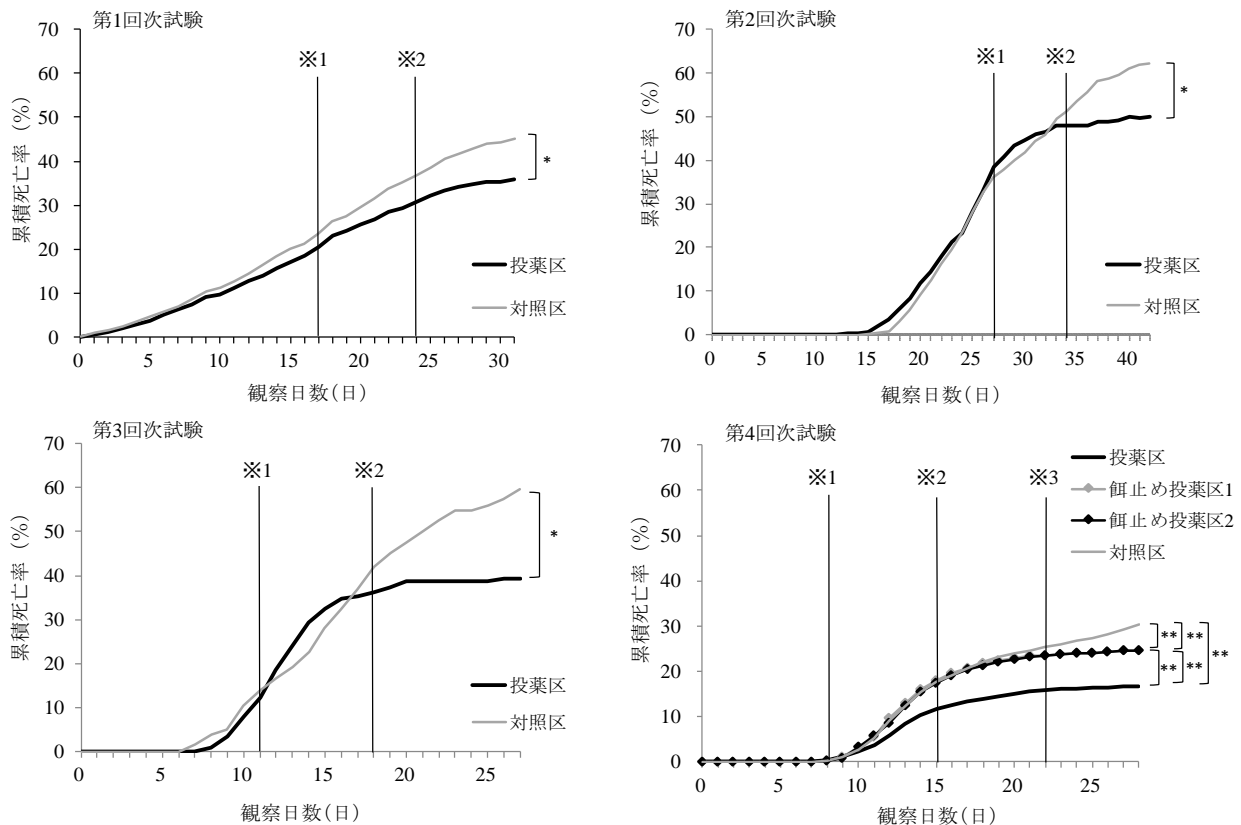


図1 IHNと冷水病の混合感染症の自然感染試験におけるSIZを投与したニジマスの累積死亡率の変化

※1 投薬区の投薬開始(第4回次試験場合、餌止め投薬区の餌止め開始)

※2 投薬終了(第4回次試験の場合、餌止め投薬区の餌止め終了、投薬開始)

※3 餌止め投薬区の投薬終了

\*、\*\* は有意差あり(\*:  $\chi^2$ 検定、 $p < 0.05$ 、\*\*: Bonferroni法、 $p < 0.01$ )

投薬中期間の後半頃から少なくなる傾向にあった(図1)。

第4回次試験の投薬区、餌止め投薬区1及び餌止め投薬区2の死亡尾数は大幅に減ったものの、死亡が始まって21日間経過したが終息しなかった。同対照区も終息しなかった。

第4回次試験の対照区の累積死亡率が30.3%に対し、餌止め投薬区1、餌止め投薬区2及び投薬区の累積死亡率はそれぞれ24.7、24.7及び16.8%であった(表2)。餌止め投薬区は対照区より有意に低かったが、投薬区より有意に高かった( $p<0.01$ )。

**死亡魚からの病原体の分離状況**

全ての回次試験において、IHNウイルス、冷水病菌以外の死亡原因につながる病原体は観察されなかった。

第1回次、第2回次及び第3回次試験において、投薬後における投薬区の死亡魚からの冷水病菌のみの分離率はそれぞれ5.6、20.0及び0%に対し、対照区の冷水病菌のみの分離率はそれぞれ83.3、77.3及び70.6%と(表3)、投薬区は対照区より有意に低かった( $p<0.05$ )。同回次試験において、投薬後における投薬区の死亡魚からのIHNウイルス

及び冷水病菌の両病原体の分離率はそれぞれ5.6、20.0及び0%に対し、対照区の両病原体の分離率はそれぞれ50.0、59.1及び52.9%と、投薬区は対照区より有意に低かった( $p<0.05$ )。同回次試験においてIHNウイルスの分離率は対照区に対し差がなかった。

第4回次試験において、投薬中における投薬区、餌止め投薬区1及び餌止め投薬区2の死亡魚からの冷水病菌のみの分離率はそれぞれ64.3、68.8及び66.1%に対し、対照区の冷水病菌のみの分離率は94.6%と、投薬区、餌止め投薬区1及び餌止め投薬区2は対照区に比べ有意に低かった( $p<0.01$ )。投薬後における投薬区、餌止め投薬区1及び餌止め投薬区2の死亡魚からのIHNウイルス及び冷水病菌の両病原体の分離率はそれぞれ8.0、7.7及び7.1%に対し、対照区の両病原体の分離率は92.0%と、投薬区、餌止め投薬区1及び餌止め投薬区2は対照区に比べ有意に低かった( $p<0.01$ )。第4回次試験においてもIHNウイルスの分離率は対照区に対し差がなかった。

表3 IHNと冷水病の混合感染症の自然感染試験におけるSIZを投与したニジマスの投薬前、投薬中及び投薬後の死亡魚の病原体検査

試験回次	期間	試験区	検体数	病原体分離尾数(分離率%)			
				IHNウイルス	冷水病菌	うち両病原体	未分離
1	投薬前	投薬区	24	21 (87.5)	24 (100)	21 (87.5)	0 (0)
		対照区	24	23 (95.8)	23 (95.8)	22 (91.7)	0 (0)
	投薬中	投薬区	12	10 (83.3)	10 (83.3)	10 (83.3)	2 (16.7)
		対照区	12	10 (83.3)	11 (91.7)	10 (83.3)	1 (8.3)
	投薬後	投薬区	18	12 (66.7)	1 (5.6)*	1 (5.6)*	6 (33.3)
		対照区	18	9 (50.0)	15 (83.3)	9 (50.0)	3 (16.7)
2	投薬前	投薬区	13	13 (100)	7 (53.8)	7 (53.8)	0 (0)
		対照区	7	7 (100)	3 (42.9)	3 (42.9)	0 (0)
	投薬中	投薬区	25	16 (64.0)	16 (64.0)	9 (36.0)	2 (8.0)
		対照区	24	18 (75.0)	20 (83.3)	15 (62.5)	1 (4.2)
	投薬後	投薬区	5	5 (100)	1 (20.0)*	1 (20.0)*	0 (0)
		対照区	22	17 (77.3)	17 (77.3)	13 (59.1)	1 (4.5)
3	投薬前	投薬区	21	21 (100)	14 (66.7)	14 (66.7)	0 (0)
		対照区	28	25 (89.3)	17 (60.7)	17 (60.7)	3 (10.7)
	投薬中	投薬区	17	13 (76.5)	13 (76.5)	10 (58.8)	1 (5.9)
		対照区	19	17 (89.5)	15 (78.9)	13 (68.4)	0 (0)
	投薬後	投薬区	3	3 (100)	0 (0)*	0 (0)*	0 (0)
		対照区	17	12 (70.6)	12 (70.6)	9 (52.9)	2 (11.8)
4	投薬中	投薬区	56	55 (98.2)	36 (64.3)**	35 (62.5)**	0 (0)
		餌止め投薬区1	112	112 (100)	77 (68.8)**	77 (68.8)**	0 (0)
		餌止め投薬区2	112	111 (99.1)	74 (66.1)**	73 (65.2)**	0 (0)
		対照区	56	56 (100)	53 (94.6)	53 (94.6)	0 (0)
	投薬後	投薬区	112	102 (91.1)	11 (9.8)**	9 (8.0)**	8 (7.1)
		餌止め投薬区1	52	44 (84.6)	4 (7.7)**	4 (7.7)**	8 (15.4)
餌止め投薬区2	餌止め投薬区2	56	44 (78.6)	4 (7.1)**	4 (7.1)**	12 (21.4)	
	対照区	112	108 (96.4)	107 (95.5)	103 (92.0)	0 (0)	

\*,\*\*は同試験回次の同時期の対照区に対して有意差あり

(\* :フィッシャーの正確確率検定,  $p<0.05$ , \*\* : Bonferroni法,  $p<0.01$ )

## 考察

ニジマスのIHNと冷水病の混合感染症は、IHNウイルスフリーの防疫施設から屋外池に池出しした時に多く発生している。比較的死亡が長引く場合が多く、被害量も大きいため、効果的な対策が求められている疾病の一つである。

本研究において、ニジマスにおけるIHNと冷水病の混合感染症に対して、稚魚及び成魚を対象に4回にわたる投薬試験の結果、冷水病治療のためのSIZ製剤投与区は無投薬区より累積死亡率を有意に低くし、被害の軽減に有効であることが明らかになった。また、SIZ製剤投与の時期は混合感染症の発生後早期ほど効果的で、今まで行われていた餌止め処理は本混合感染を長引かせる要因になると思われた。

SIZ製剤の投与が被害の軽減に有効であったのは、IHNと冷水病の混合感染症がIHNの単独感染症になり、IHNの一般的な疾病過程をたどったためと思われる。IHNは発病後、死亡が急激に増加し、短期間でピークを迎え、およそ1ヶ月以内に終息する。<sup>9)</sup>本試験でも成魚を対象とした投薬区は14及び22日間で終息している。稚魚の場合も1ヶ月以内に終息しなかったが、死亡尾数は大幅に少なくなっており、終息に向かう病状であった。一方、無投薬区はいずれも死亡の最盛期に比べ死亡尾数が少なくなったものの死亡は続いたままであった。

IHNウイルスと冷水病菌がどのように魚体内で作用し、死亡に至らしめているか明らかではない。Rolandoらはアクアビルナウイルスの接種後に*Edwardsiella tarda*あるいは*Streptococcus iniae*の細菌を接種した混合感染症は細菌だけを接種した場合よりも死亡率が高くなり、細菌感染を助長すると報告している。<sup>10)</sup>IHNと冷水病の混合感染症においてもこれと同様な現象が起こっている可能性が推察され、混合感染症がより被害を大きくしているものと思われる。

サケ科魚類のIHN及び冷水病は国内の養魚場において広く分布しており、<sup>11), 12)</sup>両疾病は体色の黒化と貧血症状を示すため区別が困難な場合がある。<sup>13)</sup>IHNあるいは冷水病が疑われるときは、IHNウイルス及び冷水病菌を検出できる魚病検査を実施し、本混合感染症または冷水病の単独感染症の場合には早期にSIZ製剤等の投薬を行うなどの適切な対策を行うことが重要であると考えられる。

## 要約

1 ニジマスのIHNと冷水病の混合感染症に対して冷水病

治療のSIZ製剤の投与の有効性と投与時期をニジマス稚魚及び成魚の自然感染試験により明らかにした。

- 2 全ての回次試験において投薬区の累積死亡率はいずれも対照区より有意に低かった。
- 3 本混合感染症の発生後、IHN対策の餌止め処置を行わず、早くSIZ製剤の投与を行った投薬区の累積死亡率は餌止め処置を行った投薬区より有意に低かった。
- 4 全ての回次試験において投薬区の冷水病菌分離率は投薬後に有意に減少し、IHNと冷水病の混合感染症からIHNの単独感染症による死亡が多くなった。
- 5 IHNと冷水病の混合感染症の発生確認後、早期に冷水病対策のSIZ製剤の投薬を行うことは、被害の軽減に有効である。

## 文献

- 1) Yoshimizu M. Disease problems of salmonid fish in Japan caused by international trade. Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz. 1996; 15: 533-549.
- 2) 若林久嗣, 堀内三津幸, 文谷俊雄, 星合愿一. 日本で発生したギンザケ稚魚の冷水病. 魚病研究 1991;26: 211-212.
- 3) 青島秀治. 水産試験場等の診断記録からみた我が国における養殖サケ科魚類の疾病問題(1978~2002年). 魚病研究 2007; 42: 119-122
- 4) 熊谷 明. 細菌性冷水病. 魚病研究. 2016; 51: 153-157
- 5) 西澤豊彦, 吉水 守. 伝染性造血器壊死症. 魚病研究 2017; 52: 1-5.
- 6) 全国養鱒技術協議会編.平成26年度魚病対策研究部会活動報告.第40回全国養鱒技術協議会要録,2016 ; 9-11
- 7) 西村定一,石田芳朗,山本章三,福田穎穂,岡本信明,佐野徳夫.伝染性造血器壊死症(IHN):人為感染させたニジマス稚魚の魚体内、水中および糞中ウイルス量の変動. 魚病研究.1988;23:13-17.
- 8) 三浦正之.せつそう病と冷水病に混合感染したサケ科魚類からの細菌分離について.山梨県水産技術センター事業報告書.2003;31:2-6.
- 9) 小野 淳. 東京都におけるマス類成魚感染型 IHN の発病事例. 東京都水産試験場調査研究報告.1998;210:37-43
- 10) Pakingking R Jr.,Takano R,Nishizawa T,Mori K, Iida Y, Arimoto M, Muroga K.Experimental Coinfection with Aquabirnavirus and Viral Hemorrhagic Septicemia Virus (VHSV), *Edwardsiella tarda* or *Streptococcus iniae* in

- Japanese Flounder *Paralichthys olivaceus*. *Fish Pathology*, 2003; 38(1):15-21.
- 11) 難波亜紀,間野伸宏.ニジマス の IHN の発生状況と調査に基づく被害低減策.養殖ビジネス.2018;55:34-37.
- 12) Kumagai A,Nawata A,Concentration of *Flavobacterium psychrophilum* in the Ovarian Fluid and Milt of Cultured Salmonids. *Fish Pathology*, 2011; 46(4):116-119.
- 13) 山本 敦.細菌性冷水病(BCWD).「魚病図鑑」(畑井喜司雄,小川和夫編)緑書房,東京. 2006; 25.

## 異なる親魚で作出した信州サーモンにおける脊椎骨異常の発現比較

竹花孝太・川之辺素一・田原偉成・降幡 充

## Comparison of vertebral deformities in Shinshu salmon produced by different parent

Kota Takehana, Motokazu Kawanobe, Hideshige Tahara, Mitsuru Furihata

信州サーモンは、四倍体ニジマスと性転換雄ブラウントラウトを交配した全雌異質三倍体であるが、一部で脊椎骨異常を生じる個体が出現し、商品価値を損ねている。これまでの研究<sup>1)</sup>により、信州サーモンを生産者へ配布する2~3gサイズで既に脊椎骨異常が生じており、その後の飼育環境の影響ではないことが分かっている。さらに、脊椎骨異常は脊椎骨の様々な場所で生じ、外観からは確認することができない軽微な異常が生じていることも分かっている。これらのことから、信州サーモンの脊椎骨異常の原因のひとつとして遺伝的要因が考えられている。<sup>1)</sup>

魚類では近交度が高まると、有害遺伝子のホモ接合体率の増加により奇形や成長抑制等近交弱勢を引き起こすことが知られている。<sup>2)</sup>サケ科魚類では体型異常の出現する野生イワナ集団において遺伝的多様性の低下が報告されている。<sup>3)</sup>信州サーモンの雌親魚である種苗生産用親魚は、「主群四倍体ニジマス（以下、主群四倍体）」と呼ばれ継代飼育されている全雌群である。主群四倍体は、2004年~2006年に、種苗生産用親魚として水産試験場で継代飼育されている二倍体ニジマス（以下、主群二倍体）卵に四倍体性転換雄ニジマスの精子を掛け合わせた後、第二極体放出阻止により四倍体化処理を行い系統化した群れである。主群四倍体系統を作出する際に用いた四倍体性転換雄ニジマスの系統は、1985年から、二倍体ニジマス受精卵の圧力処理による四倍体化処理を施し、<sup>4)</sup> そのうちの生残魚最大9尾を用いて継代・作出した系統である。そのため、主群四倍体は創始個体が極めて少なく近交度が高い系統であり、近交弱勢が生じている可能性がある。

交雑によって体型異常が生ずるとする研究例もある。サンフィッシュ科の *Lepomis microlophus* × *Lepomis gulosus* の交雑種は、親魚種よりも下顎異常が多いことが報告されている。<sup>5)</sup> またハタ科のチャイロマルハタ×タマカイやクエ×タマカイの交雑種は、ふ化後の奇形魚の出現率が親魚種よりも高いことが報告されている。<sup>6,7)</sup> サケ科魚類の異質三倍体について、絹姫サーモン（ニジマ

スとアマゴまたはイワナの極体放出阻止による異質三倍体）において、親魚であるホウライマス（無斑ニジマス）よりも外観観察により体型異常個体の出現が多いと報告されている。<sup>8,9)</sup> 一方、Thomas *et al.*<sup>10)</sup>によると、3年級群を使用しタイセイヨウサケとブラウントラウトの雑種を作出したところ、雑種の脊椎骨異常魚の出現率は、年級群によるが親魚種のタイセイヨウサケよりも高い場合と違いがない場合の両方が確認されている。また、タイセイヨウサケとブラウントラウトの極体放出阻止により作出された異質三倍体についても同様の結果であった。他の魚種では、チダイ×マダイの雑種は、幼魚の段階で親魚種と脊椎骨異常個体の出現率に違いがないことが報告されている。<sup>11)</sup> このように交雑が体型異常を引き起こすかどうかは、魚種・組み合わせによって違いがある。信州サーモンは、四倍体ニジマスと性転換雄ブラウントラウトの交雑種であるが、雑種形成が脊椎骨異常に悪影響を及ぼすかは分かっていない。

信州サーモンは、近交度の高い雌親魚群から作出され、かつニジマスとブラウントラウトの交雑種である。脊椎骨異常は、近交、交雑のいずれか、あるいは両者の影響を受けている可能性がある。そこで、我々は、遺伝的多様性の異なる親魚を用いて同種交配及び種間交雑によって子世代を作出し、それらの脊椎骨異常の発現について比較した。今後の対策の方向性を示す知見を得たので報告する。

## 材料と方法

2014年10~11月に、親魚①~④を用いてSS-A~RT3N-Bの4種類の供試魚を作出した（表1）。親魚①の多様型全雌四倍体ニジマス（以下、多様型四倍体）は、遺伝的多様性を高めるために、2011年11月に主群二倍体6尾から得られた卵に主群四倍体の性転換雄5尾と交配後、第二極体放出阻止により作出した系統である。主群二倍体は、通常数千尾の中から十数尾~数十尾の親魚を用いて継代飼育している系統であり、主群四倍体よりも近交



度は低い。SS-A～RT3N-Bの作出に当たっては、親魚①～④をそれぞれ30、12、16、6尾用いた。それぞれの雌親魚から得られた卵を各試験区2000粒ずつ用いて受精し、発眼卵を最大500粒となる様に水槽へ収容し、ふ化させた。2015年3月にそれぞれの生残魚から約100尾ずつ無作為に選別した。作出した供試魚は、ろ過紫外線殺菌湧水で飼育した。

2015年5月に、各群の生残魚の外観観察を行い、外観上脊椎骨異常と判断した個体(以下、外観異常魚)を取り上げた(調査I)。残りの各100尾前後を、新たな水槽に収容し、飼育を続けた。2016年2月に、全てを取り上げ、外観観察により脊椎骨異常の有無を調査した(調査II)。さらに全ての外観異常魚と、外観から正常魚と判断した個体(以下、外観正常魚)の全部又は一部をX線撮影装置で撮影し、脊椎骨異常の有無について観察した。脊椎骨の観察は竹花らと同様に、頭部後端に接続する脊椎骨から尾鰭椎までの間で、椎体の癒合や変形が確認された場合に脊椎骨異常と判断した。

### 結果

SS-A、SS-B、RT3N-A及びRT3N-Bの4試験区の供試魚における脊椎骨異常個体の出現率(以下、異常率)を表2に示した。調査Iには、外観異常魚が見られたのはSS-A、SS-B及びRT3N-Bで、その異常率はそれぞれ5.9、1.0、1.0%であった。外観異常魚は、短軀、上下湾がみられ、脊椎骨に異常があると判断した。調査IIでの外観異常魚はすべての試験区で観察され、その異常率は1.1～11.2%であり、SS-Bが最も高かった。X線観察で、全ての外観異常魚に脊椎骨異常が認められた。外観正常魚に

についても全ての群で脊椎骨異常が認められ、外観正常魚の異常率は3.3～36.7%と群によるばらつきが大きかった。調査IIについて、竹花らと同様の方法で、調査尾数に対する脊椎骨異常個体の出現率(以下、総合異常率)を推定した。すなわち、調査IIに取り上げた供試魚の異常率を算出するため、X線撮影による異常率を用いて、調査尾数中の外観正常魚中の脊椎骨異常尾数を推定し、外観異常魚の尾数と合計した調査IIの総合異常率は、4.6～41.2%であった。また、調査Iの人為的選別の影響を考慮するため、調査IIの総合出現率を用いて調査Iにおける外観正常魚中の脊椎骨異常魚の尾数を推定し、外観異常魚の尾数と合計した。その結果、調査Iの総合異常率は、5.9～44.6%であった。多様型四倍体と主群四倍体から作出された信州サーモンの調査Iにおける総合異常率に差は見られなかった(図,TurkeyのWSD法, n.s.)。一方で、同じ雌個体群から作出された信州サーモンは、三倍体ニジマスと比較し調査Iにおける総合異常率が有意に高かった(図,TurkeyのWSD法,  $p<0.05$ )。

### 考察

**近交の影響** 魚類では遺伝的多様性が低くても近交弱勢の弊害が生じない場合がある。日本と韓国に生息するブルーギルは、1960年に日本に持ち込まれた15個体のみを創始者とし、遺伝的多様性が極端に低いにもかかわらず、強い繁殖力と移植により生息範囲を拡大している。<sup>12-14)</sup> 今回の試験において、多様型四倍体と主群四倍体を

表1 交配親魚による脊椎骨異常魚の出現の影響における供試魚組み合わせ

魚種と組み合わせ		雌(♀)	
		① 多様型全雌 四倍体ニジマス	② 主群四倍体 ニジマス
雄(♂)	③ 性転換雄 ブラウントラウト	信州サーモン (SS-A)	信州サーモン (SS-B)
	④ 性転換雄 ニジマス	全雌三倍体 ニジマス (RT3N-A)	全雌三倍体 ニジマス (RT3N-B)

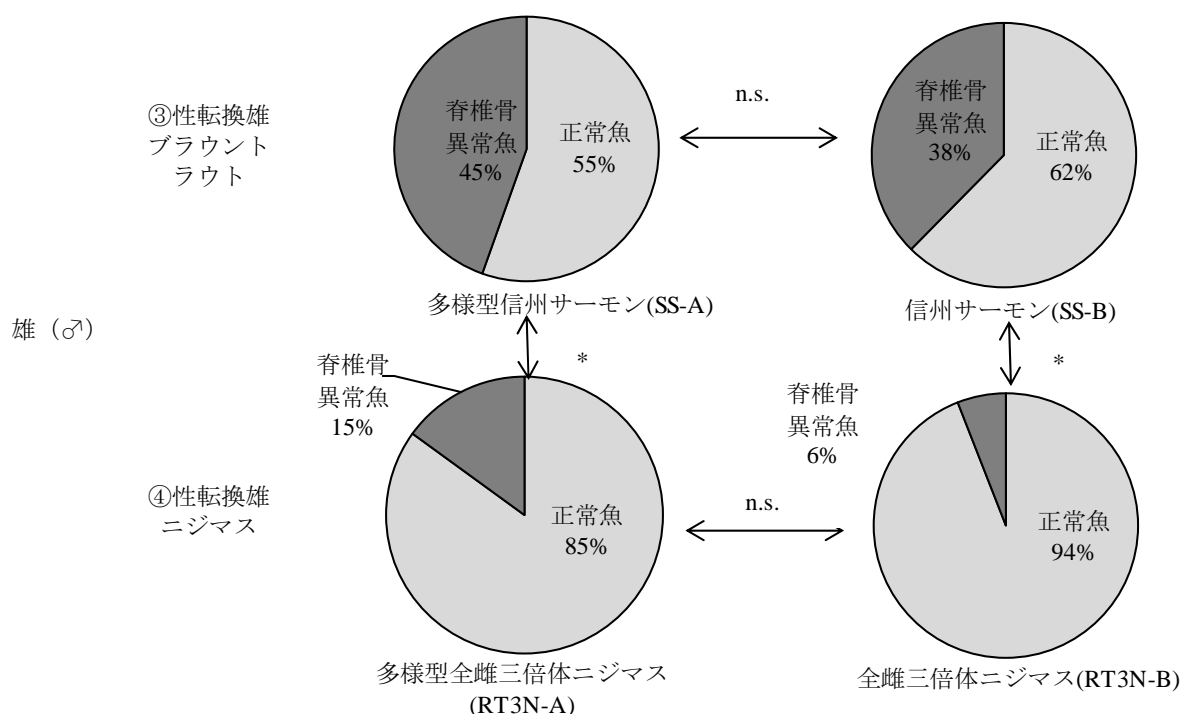
- ①(多様型全雌四倍体ニジマス) : 2011年に主群二倍体ニジマスと四倍体性転換雄受精卵の極体放出阻止により四倍体化した系統
- ②(主群四倍体ニジマス) : 2010、2011年に全雌四倍体ニジマスと同性転換雄で継代した信州サーモン生産に用いている四倍体系統
- ③(性転換雄ブラウントラウト) : 2010年に全雌ブラウントラウトにホルモン処理を施した信州サーモン生産に用いている系統
- ④(性転換雄ニジマス) : 2010年に主群二倍体ニジマスと二倍体性転換雄ニジマスで作出した全雌にホルモン処理を施した系統

表2 SS-A~RT3N-Bまでの脊椎骨異常個体の出現率

試験区名				SS-A	SS-B	RT3N-A	RT3N-B
項目・計算式							
調査 I (2015年5月)	外観観察	調査尾数	a	101	101	100	101
		平均体重(g)		3.8	3.0	4.0	4.0
	X線観察	脊椎骨異常魚尾数	b	6	1	0	1
		脊椎骨異常魚出現率(%)	b/a	5.9	1.0	0.0	1.0
調査 II (2016年2月)	外観観察	調査尾数	c	85	98	96	87
		平均体重(g)		69.9	67.7	63.3	64.8
		脊椎骨異常魚尾数	d	6	11	3	1
		脊椎骨異常魚出現率(%)	d/c	7.1	11.2	3.1	1.1
	X線観察	外観正常魚X線撮影尾数	e	60	60	60	60
		脊椎骨異常魚尾数	f	22	17	7	2
		脊椎骨異常魚出現率(%)	f/e	36.7	28.3	11.7	3.3
		調査尾数に対する脊椎骨異常魚尾数(推定値)*	$g = (c-d) \times f/e + d$	35	36	14	4
総合脊椎骨異常魚出現率(%)		$h = g/c$	41.2	36.7	14.6	4.6	
正常魚尾数*		$i = a - j$	56	63	85	95	
脊椎骨異常魚尾数*		$j = (a-b) \times h + b$	45	38	15	6	
調査 I における総合脊椎骨異常魚出現率(%)		$j/a$	44.6	37.6	15.0	5.9	

\*小数点以下は四捨五入により整数値とした

魚種と組み合わせ	雌 (♀)	
	①多様型全雌四倍体ニジマス	②主群全雌四倍体ニジマス



\* :  $p < 0.05$  で有意差あり

図 SS-A~RT3N-Bの調査 I における総合脊椎骨異常魚の出現率

用いて作出した信州サーモン間で異常率に差が無く、遺伝的多様性を高めた多様型四倍体は異常率の低減には寄与しなかった。ブルーギルの事例から近交度の高さは必ずしも有害な形質の発現には繋がらないことがわかる。

これらのことから、信州サーモンの脊椎骨異常は、少ない創始者による遺伝的浮動に伴って生じた有害な形質の発現ではないと考える。

**交雑の影響** 同じ四倍体卵由来であっても、性転換雄

ブラウントラウトを掛け合わせた信州サーモンが、性転換雄ニジマスと掛け合わせた三倍体ニジマスよりも異常率が高かった。このことから、四倍体ニジマスと性転換雄ブラウントラウトとの交雑が脊椎骨異常に大きく関係していることが示唆される。前述のとおり、雑種形成が脊椎骨異常を引き起こすかは魚種によって異なるが、信州サーモンは、雑種形成によって脊椎骨異常を引き起こしやすい組み合わせと考える。

**今後の方向** マダイやヒラメは、親魚や系統の違いにより次世代の体型異常個体の出現率が異なることが知られている。<sup>15,16</sup>信州サーモンについては、雄親である性転換雄ニジマスと性転換雄ブラウントラウト自体が持つ脊椎骨異常に関する遺伝的調査は行われておらず、親魚や系統の違いが及ぼす影響は不明である。今後の研究として、骨異常に関する遺伝率の推定や、異なる年級群あるいは系統を用いて「交雑しても異常が少ない系統」の探索が想定されるが、いずれも多くの飼育施設と長い研究期間が必要であろう。実施にあたっては綿密な研究モデルの設計が必須と考える。

#### 要約

- 1 信州サーモンの脊椎骨異常の遺伝的影響として近交と交雑が想定される。そこで、異なる親魚を用いて交配実験によって子世代を作出し、その脊椎骨異常について比較した。
- 2 主群四倍体ニジマス及び多様型全雌四倍体ニジマスからそれぞれ作出された信州サーモンの脊椎骨異常個体の出現率に差はなく、近交の低減は異常率出現の低減に寄与しなかった。
- 3 主群四倍体ニジマス及び多様型全雌四倍体ニジマスに、それぞれ性転換雄ブラウントラウト及び性転換雄ニジマスを交配させた。作出した信州サーモンと全雌三倍体ニジマスの異常率は、いずれの四倍体ニジマスにおいても全雌三倍体ニジマスのほうが有意に低く、信州サーモンにおける脊椎骨異常の発現は交雑の影響が示唆された。

#### 謝辞

本研究を実施するにあたり、X線撮影にご協力いただきました「どうぶつの病院」(安曇野市)獣医師の望月明義氏に厚く御礼申し上げます。

#### 文献

- 1) 竹花孝太, 小川 滋, 山崎正幸, 降幡 充. 信州サーモン稚魚の大小選別が脊椎骨異常に及ぼす影響. 長野県水産試験場研究報告2020;19,8-11.
- 2) 久道 茂. 「水産遺伝育種学」(中嶋正道・荒井克俊・岡本信明・谷口順彦編)「水産遺伝育種学」東北大学出版会, 宮城. 2017;1-21,69-97.
- 3) 水産総合研究センター増養殖研究所. 奇形集団の遺伝的多様性の把握. 「溪流資源増大技術開発事業研究報告書」水産庁 2013; 3-29.
- 4) 長野県水産試験場. 長野県水産試験場佐久支場. ニジマス四倍体によるニジマス三倍体作出技術開発. 「平成7年度地域バイオテクノロジー実用化技術研究開発促進事業報告書」1996;31-37.
- 5) Whitt GS, Cho PL, Childers WF. Preferential inhibition of allelic isozyme synthesis in an interspecific sunfish hybrid. *Journal of Experimental Zoology* 1972;179:271-282.
- 6) Kiriyakit A, Gallardo WG, Bart AN. Successful hybridization of groupers (*Epinephelus coioides* × *Epinephelus lanceolatus*) using cryopreserved sperm. *Aquaculture* 2011;320:106-112.
- 7) 村田 修, 板倉壮太, 山本民司, 服部 宏, 倉田道雄, 太田博巳, 升問主計. クエ *Epinephelus bruneus* × タマカイ *E. lanceolatus* の種間交雑と交雑仔稚魚の成長. *水産増殖 Aquaculture Science* 2017;65(1): 93-95.
- 8) 市菜亮祐, 高須雄二, 石元伸一. マス類増養殖技術試験(ニジアマ変形魚発生状況調査). 愛知県水産試験場研究報告 2012;17:50.
- 9) 市菜亮祐, 高須雄二, 石元伸一. マス類増養殖技術試験(ニジアマ変形魚発生状況調査). 愛知県水産試験場研究報告 2013;46.
- 10) Fraser TWK, Hansen TJ, Sambraus F, Fjell dai PG. Vertebral deformities in interspecific diploid and triploid salmonid hybrids. *Journal of Fish Biology* 2020;1-12.
- 11) 荒川敏久, 吉田範秋. マダイ・チダイ交雑種幼稚仔と人工採苗マダイの成長, 生残および外部形態の比較. 長崎県水産試験場研究報告 1986;12:27-35.
- 12) 河村功一, 米倉竜次, 石川正樹, 片野 修. ミトコンドリアDNAの制限酵素切断多型から見た日本・韓国産ブルーギルの遺伝的特徴. 水産育種 2004 ; 33:93-100.
- 13) Kawamura K, Yonezawa R, Katano O, Taniguchi Y, Saitoh K. Origin and dispersal of bluegill sunfish, *Lepomis macrochirus*, in Japan and Korea. *Molecular Ecology*



2006;15:613-621.

14)財団法人 自然環境研究センター 生物多様性調査  
動物分布調査・淡水魚類報告書 2002

15)谷口順彦,東 健作,榎田 晋.マダイ人工種苗の脊椎  
骨異常発生率にみられた親間差.Bullentin of Japanese

Society of Scientific Fisheries 1984;50(5):787-792.

16)斉藤節雄,森立成.クローンヒラメの特性評価第2報性  
分化と形態形成のクローン間の比較.北水試研報  
2009;76:39-44.

